

**METHOD OF GROWING ZnO CRYSTAL, ZnO CRYSTAL STRUCTURE AND SEMICONDUCTOR DEVICE USING THE SAME****Publication number:** JP2001068485**Publication date:** 2001-03-16**Inventor:** SANO MICHIIRO; YAO TAKAFUMI**Applicant:** STANLEY ELECTRIC CO LTD; YAO TAKAFUMI**Classification:****- international:** *H01L33/00; C30B23/02; H01L21/363; H01L21/365; H01L33/00; C30B23/02; H01L21/02; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/363; H01L33/00***- european:** C30B23/02**Application number:** JP19990245220 19990831**Priority number(s):** JP19990245220 19990831**Also published as:**

EP1081256 (A)

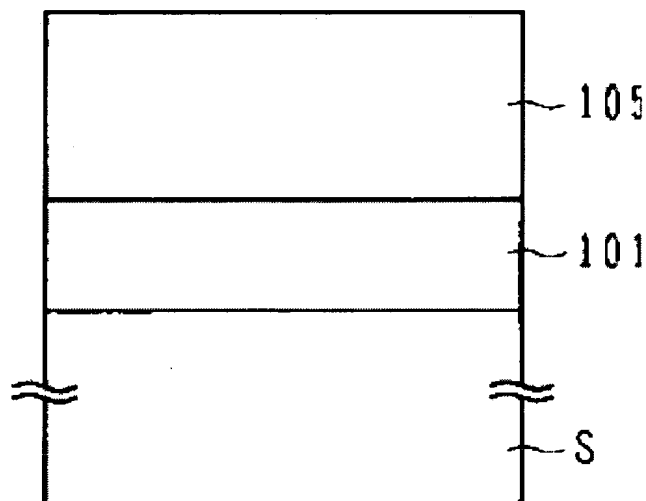
US6664565 (B)

EP1081256 (A)

**Report a data error here****Abstract of JP2001068485**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method of growing ZnO crystal of favorable quality by reducing defects of ZnO crystal grown on a sapphire substrate with respect to ZnO crystal, a method of growing the same and a semiconductor device using the same.

**SOLUTION:** This method includes steps of growing a low temperature growth ZnO layer 101 on a sapphire substrate S at a temperature lower than that for growing single crystal ZnO, thermally treating the low temperature growth ZnO layer at a temperature about the same as the growth temperature of a high temperature growth single crystal ZnO, which is higher than that of the low temperature growth ZnO and growing the high temperature growth single crystal ZnO layer 105 on the low temperature growth ZnO layer at a temperature higher than the growth temperature of the low temperature growth single crystal ZnO.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-68485

(P2001-68485A)

(43)公開日 平成13年3月16日(2001.3.16)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マコ-ト\*(参考)

H 0 1 L 21/363

H 0 1 L 21/363

5 F 0 4 1

33/00

33/00

D 5 F 1 0 3

審査請求 有 請求項の数10 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平11-245220

(22)出願日 平成11年8月31日(1999.8.31)

(71)出願人 000002303

スタンレー電気株式会社

東京都目黒区中目黒2丁目9番13号

(71)出願人 594020031

八百 隆文

宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号

東北大学金属材料研究所内

(72)発明者 佐野 道宏

神奈川県横浜市青葉区荏田西1-3-1

スタンレー電気株式会社技術研究所内

(74)代理人 100091340

弁理士 高橋 敬四郎 (外1名)

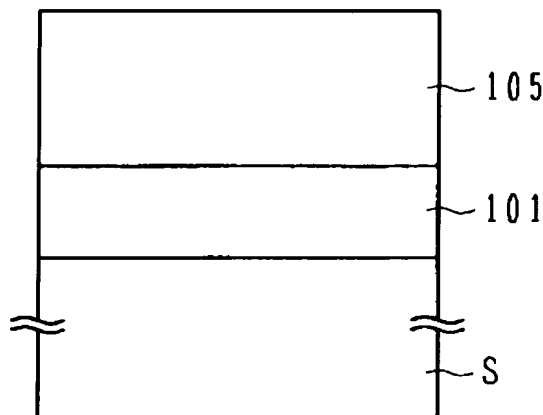
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ZnO結晶の成長方法、ZnO結晶構造及びそれを用いた半導体装置

(57)【要約】

【課題】 ZnO結晶、その成長方法及びそれを用いた半導体装置に関し、サファイヤ基板上に成長されるZnO結晶の結晶欠陥を低減し、良質なZnO結晶を成長する結晶成長方法を提供する。

【解決手段】サファイヤ基板上に、単結晶ZnOの成長温度よりも低い温度で低温成長ZnO層を成長する工程と、前記低温成長ZnOの成長温度よりも高い高温成長単結晶ZnO層の成長温度と同程度の温度で前記低温成長ZnO層を熱処理する工程と、前記低温成長ZnO層上に、前記低温成長単結晶ZnOの成長温度よりも高い温度で高温成長単結晶ZnO層を成長する工程とを含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 サファイヤ基板上に、単結晶ZnOの成長温度よりも低い温度で低温成長ZnO層を成長する工程と、

前記低温成長ZnOの成長温度よりも高い高温成長単結晶ZnO層の成長温度と同程度の温度で前記低温成長ZnO層を熱処理する工程と、

前記低温成長ZnO層上に、前記低温成長単結晶ZnOの成長温度よりも高い温度で高温成長単結晶ZnO層を成長する工程とを含むZnO結晶の成長方法。

【請求項2】 前記低温成長ZnO層を成長する工程は、

200℃から600℃の間の温度でZnO単結晶を成長する工程である請求項1記載のZnO結晶の成長方法。

【請求項3】 前記高温成長単結晶ZnOの成長温度と同程度の温度で前記低温成長ZnOを熱処理する工程は、600℃から800℃までの温度で、2分間から60分間の熱処理を行う工程である請求項1または2に記載のZnO結晶の成長方法。

【請求項4】 前記低温成長ZnO層を成長する工程は、

Znリッチな条件で気相成長する工程である請求項1から3までのいずれかに記載のZnO結晶の成長方法。

【請求項5】 サファイヤ基板と、

その上に形成され、表面平坦化処理が施された低温成長ZnO層単結晶層と、

前記低温成長ZnO単結晶層上に形成された高温成長ZnO単結晶層とを含むZnO結晶構造。

【請求項6】 前記低温成長ZnO単結晶層は、600℃よりも低い温度でZnOを成長した層であり、

前記高温成長ZnO単結晶層は、前記低温成長ZnO層よりも高くかつ800℃よりも低い温度で成長した層である請求項5に記載のZnO結晶構造。

【請求項7】 前記低温成長ZnO単結晶層の厚さは、10から100nmである請求項5又は6に記載のZnO結晶構造。

【請求項8】 前記高温成長ZnO単結晶層は、Ga又はAlをドーピングしたn型の導電性を有するZnO層である請求項5から7までのいずれかに記載のZnO結晶構造。

【請求項9】 前記高温成長ZnO単結晶層は、Nをドーピングしたp型の導電性を有するZnO層である請求項5から8までのいずれかに記載のZnO結晶構造。

【請求項10】 サファイヤ基板と、

その上に形成され、表面平坦化処理が施された低温成長ZnO単結晶層と、

該低温成長ZnO単結晶層上に形成された高温成長ZnO単結晶層とを含み、

前記高温成長ZnO単結晶層は、Ga又はAlをドーピングしたn型の導電性を有するZnO層と、Nをドーピ

ングしたp型の導電性を有するZnO層とのp-n接合を有する半導体装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ZnO結晶、その成長方法及びそれを用いた半導体装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、ZnOは、RS（ラジカルソース）-MBE法を用いてサファイヤ基板上に直接成長させていた。Zn用のソースとしては、Kセル（クヌードセル）中のZn用の固体ソースを用いる。O用のソースとしては、気体ソースである酸素ガスを、RF又はECR等を用いて発生させた酸素ラジカルを用いる。

【0003】特に、RFを用いたRF-MBE法は、商業ベース上、最も一般的な高周波（13.56MHz）を用いる。MBEチャンバ内の無電極放電管内に原料ガスであるO<sub>2</sub>ガスを導入することによりOラジカルを発生させる。Oラジカルは、MBEチャンバー内に吹き出し、Oラジカルのビームとなる。OラジカルのビームとKセルからのZnのビームをサファイヤ基板上に同時に照射することにより、ZnO薄膜の成長を行う。

【0004】II-VI族半導体のうちの1つであるZnOを用いて、p-n接合を含むLED（Light Emitting Diode）やLD（Laser Diode）等の半導体装置を製造することができる。

【0005】LEDやLD等の半導体装置を構成する半導体結晶材料の結晶性は、半導体素子の電気的特性、光学的特性及び素子の信頼性（素子寿命）に重大な影響を与える。半導体素子を構成する半導体結晶材料の結晶性が良好なほど、半導体素子の光学的・電気的特性や信頼性が良好になる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来のRS（ラジカルソース）-MBE法を用いてサファイヤ基板上に直接成長させたZnO結晶には、次のような問題点があった。すなわち、サファイヤ基板とZnOとの格子定数の差（格子定数のミスマッチが約18%）が大きい。加えて両者の熱膨張係数にも2.6倍という大きな差が存在する。

【0007】成長後のZnO結晶中には多くの結晶欠陥が導入される。

【0008】図8にサファイヤ（0001）基板上に、ZnO（0002）結晶を直接成長させた場合の、ZnO結晶のXRC（X線ロックアップ）法による測定結果を示す。ZnO結晶は、RS-MBE法により成長温度：T<sub>g</sub>=650℃、Znの分圧：P<sub>zn</sub>=1×10<sup>-7</sup>Torr、酸素の流量：O<sub>2</sub>=2SCCM、RF出力：300Wの条件で成長した。

【0009】XRCの測定結果をみると、Omegaが

17.5度付近にピーク強度を有するほぼ正規分布の曲線が観測された。半値幅(FWHM)は $0.5^\circ$ ( $1800 \text{ arc sec}$ )と大きな値を示した。図8の測定結果より、上記の条件で成長したZnO結晶は、その結晶性が良くないことが判明した。

【0010】図9に、上記の条件において成長したZnO結晶を、PL(Photo Luminescence)法により測定した結果を示す。横軸は、PLの出射光のエネルギーである。エネルギー3.35eV付近に強度が高く半値幅の常に狭い、鋭いピークが観測された。PLのピークエネルギー値は、ZnOの禁制帯幅(3.3 eV)とほぼ一致する。導電帯と価電子帯との間での電子と正孔との再結合に起因する発光ピークであると解される。

【0011】エネルギーとして1.8eVから2.7eV付近にかけて非常にブロードなピークも観測された。このブロードなピークは、禁制帯内に存在する深い準位間の発光に起因するものと解される。ZnO結晶中に多くの結晶欠陥が存在することを示唆する。

【0012】本発明の目的は、サファイヤ基板上に成長されるZnO結晶の結晶欠陥を低減し、良質なZnO結晶を成長する結晶成長方法を提供することである。

【0013】本発明の他の目的は、サファイヤ基板上に成長されるZnO結晶及びそれを用いた半導体装置を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の一観点によれば、サファイヤ基板上に、単結晶ZnOの成長温度よりも低い温度で低温成長ZnO層を成長する工程と、前記低温成長ZnOの成長温度よりも高い高温成長単結晶ZnO層の成長温度と同程度の温度で前記低温成長ZnO層を熱処理する工程と、前記低温成長ZnO層上に、前記低温成長単結晶ZnOの成長温度よりも高い温度で高温成長単結晶ZnO層を成長する工程とを含むZnO結晶の成長方法が提供される。

【0015】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0016】尚、本明細書中において定義される「低温成長ZnOの成長温度」とは、例えば200℃から600℃程度の、一般的にZnO単結晶を成長するための結晶成長の温度よりも100℃から400℃程度低い温度である。「高温成長単結晶ZnO層の成長温度」とは、一般的にZnO単結晶を成長する際に適した成長温度であり、上記の「低温成長ZnOの成長温度」よりも高く、かつ、800℃よりも低い温度であり、例えば650℃である。

【0017】図1から図3までを参照して、本発明の第一の実施の形態によるI-III族化合物半導体結晶の成長方法を説明する。

【0018】図1にI-III族化合物半導体結晶の成長装置の一例として、ラジカルソース分子線エピタクシー(RS-MBE)法を用いた結晶成長装置(以下「RS-MBE装置」という。)を示す。

【0019】RS-MBE装置Aは、結晶成長が行われるチャンバ1と、チャンバ1を超高真空状態に保つ真空ポンプPとを含む。

【0020】チャンバ1は、Znを蒸発させるためのZn用ポート11と、Oラジカルを照射するためのOラジカルポート21と、Nラジカルを照射するためのNラジカルポート31とを含む。

【0021】Zn用ポート11は、Zn(純度7N)原料15を収容するとともに加熱・蒸発させるクヌーセンセル(Knudsen cell: 以下Kセルと呼ぶ。)17とシャッターS<sub>1</sub>とを備えている。

【0022】Oラジカルポート21は、無電極放電管内に原料ガスである酸素ガスを導入し、高周波(13.56MHz)を用いて生成したOラジカルを、MBEチャンバ1内に噴出する。Oラジカルのビームに対してオリフィスS<sub>2</sub>が設けられている。

【0023】Nラジカルポート31は、無電極放電管内に原料ガスである窒素ガスを導入し、高周波(13.56MHz)を用いて生成したNラジカルを、MBEチャンバ1内に噴出する。Nラジカルのビームに対してシャッターS<sub>3</sub>が設けられている。

【0024】ラジカルポート21、31の構造としては、外側シールド管内に設けられている放電管の外側に誘導コイルが巻かれている構造である。

【0025】チャンバ1内には、結晶成長の下地となるサファイヤ基板Sを保持する基板ホルダー3と、基板ホルダー3を加熱するためのヒータ3aとが設けられている。サファイヤ基板Sの温度は熱電対5によって測定可能である。基板ホルダー3の位置は、ベローズを用いたマニピュレータ7によって移動可能である。

【0026】チャンバ1は、成長した結晶層をモニタリングするために設けられた反射電子線回折装置(RHEED装置)のガン41とRHEED装置のスクリーン55とを含む。RHEED装置のガン41とRHEED装置のスクリーン55とを用いて、MBE装置A内での結晶成長の様子(成長量、成長した結晶層の質)をモニタリングしながら成長を行うことができる。

【0027】結晶成長の温度、結晶成長膜の厚さ、チャンバ内の真空度等は、制御装置Cによって適宜制御される。

【0028】以下に、サファイヤ基板S上に、ZnOを成長する工程について、詳細に説明する。

【0029】結晶成長はRS-MBE法によりシャッターS<sub>1</sub>からS<sub>3</sub>を適宜開閉することにより行う。

【0030】ラジカルソースを発生させる方法としては、RFを用いたRF-MBE法が用いられる。13.

56 MHzの高周波を用いて、無電極放電管内に原料ガスである $O_2$ を導入することによりOラジカルを生成する。Oラジカルを高真空状態のMBEチャンバー1内に吹き出させることにより、Oラジカルビームとなる。OラジカルビームとKセルからのZnビームとをサファイヤ基板S上に同時に照射することにより、ZnO薄膜の成長を行う。

【0031】図2に、本実施の形態による半導体結晶構造の概略を示す。

【0032】サファイヤ(0001)基板S上に、ZnOバッファ層101を形成し、バッファ層101の上にZnOの単結晶層105を形成する。

【0033】以下に、上記図2の構造を作成するための工程について簡単に説明する。

【0034】まず、サファイヤ基板S上に、低い成長温度で、かつZnリッチの条件においてZnOを成長させる。酸素ラジカルを照射した状態で、ZnOを単結晶成長させるのに適した通常の成長温度まで昇温する。この状態を例えば20分程度維持する。高温熱処理により低温成長ZnO層の表面が平坦化する。これによりバッファ層101が形成される。その上にZnO単結晶層105を成長する。

【0035】バッファ層101は、サファイヤ基板SとZnO単結晶層105との間の格子定数の大きなずれに起因する格子不整合と大きな熱膨張係数の差とを緩和し、これらに起因するZnO単結晶層105中への歪みの導入を防止する。

【0036】図3に、AFM法(Atomic Force Microscopy)法により観測したZnOバッファ層101の表面状態を示す。

【0037】図3(a)はZnリッチの条件において成長させた場合のバッファ層101の表面を、図3(b)はOリッチの条件において成長させた場合のバッファ層101の表面を示す。

【0038】ZnリッチのZnO結晶とは、 $ZnO_{1-x}$ において、xが1よりも小さい割合で含まれている結晶である。

【0039】ZnOのバッファ層101をZnリッチの条件において成長させると、Oリッチの条件において成長させた場合と比べてZnOバッファ層101の表面の平坦性が向上することがわかる。また、酸素リッチな成長条件で成長した場合も、Znリッチな成長条件で成長した場合も、成長した低温成長ZnO層は粒界が存在する単結晶と考えられる。

【0040】以下に、より詳細な結晶成長方法を示す。

【0041】サファイヤ基板Sの(0001)面を、110℃に加熱した $H_3PO_4$ ： $H_2SO_4$ ＝1：3の溶液中で60分ウェットエッチングを行う。

【0042】上記の表面処理を行った後、サファイヤ基板Sを基板ホルダー3(図1)に装着する。

【0043】基板温度550℃、酸素の流量を2SCCM、RFパワーを150Wの条件下で、MBE装置中において1時間酸素プラズマによる表面処理を行った。MBE装置内においてサファイヤ基板Sの表面を処理することにより、サファイヤ基板S表面が清浄化される。

【0044】上記の基板表面処理の後、まずバッファ層101を成長する。通常の単結晶ZnO基板の成長条件と異なり低温かつZnリッチの条件下での成長を行う(低温成長ZnO層)。Znのビーム量は、 $2.7 \times 10^{-7}$  Torrである。

【0045】酸素ビームの供給源としてOのRFプラズマソースを用いる。Oラジカルポート21に純酸素(純度6N)ガスを導入し、高周波発振源を用いてラジカル化する。

【0046】ガスソースである酸素の流量は、チャンバー内の酸素の分圧として流量1.5SCCMにおいて $5 \times 10^{-5}$  Torr、RFパワーは300Wである。成長温度は300℃から600℃の範囲で行う。バッファ層の厚みとしては、10から100nmの範囲である。

【0047】ここで、上記の圧力の値は、基板ホルダー位置(成長位置)に取り付けたヌードイオンゲージの指示値を示したものである。

【0048】図4に、基板温度 $T_g$ を650℃とした場合のZnの分圧( $P_{zn}$ )と成長速度との関係を示す。 $N_2$ の分圧を2SCCM、RF出力を300Wとした。Znの分圧を $1.3 \times 10^{-7}$  Torrから $2.7 \times 10^{-7}$  Torrまで変化させた。

【0049】Znの分圧を $1.3 \times 10^{-7}$  Torrから $2.15 \times 10^{-7}$  Torrまで増加させると、ZnOの成長速度は、 $0.10 \mu m/hr$ から $0.26 \mu m/hr$ まで増加する。Znの分圧が $2.15 \times 10^{-7}$  Torrから $2.7 \times 10^{-7}$  Torrまでの範囲でのZnOの成長速度は、 $0.26 \mu m/hr$ から $0.27 \mu m/hr$ 程度とほぼ一定の値を示す。

【0050】低温成長したZnOバッファ層を成長した後、バッファ層の表面の平坦化処理を行う。平坦化処理としては単結晶を成長させるような高温、例えば650℃において2分から60分間までの間の熱処理を行う。低い成長温度で成長を終えた低温成長ZnOバッファ層101は粒界を有する単結晶で、各グレインが同じ異方性を示すようにエピタキシャル成長していると考えられる。主にそのグレイン間の粒界に起因してAFM観察でみられたような凹凸が観察されたものと考えられる。

【0051】低温成長ZnOバッファ層に上記の熱処理を施すことで、各グレインの単結晶が固相成長してグレインサイズが大型化して表面を平坦化するものと考えられる。

【0052】特にZnリッチの条件で成長させた場合に

は、酸素リッチの条件で成長させた場合に比べて当初の表面凹凸が小さいので、平坦化処理により優れた平坦表面が得られやすい。優れた平面表面を有する低温成長ZnOバッファ層の上に高温でZnO層を成長すると、良好な結晶性の単結晶ZnO層が得られやすい。

【0053】尚、低温成長ZnO層を成長する温度は、200℃から600℃の間が好ましい。

【0054】低温成長ZnOバッファ層は、成長したまま(a s - g r o w n)の状態ではグレインサイズが小さく粒界が観察されるため、AFM観察では多結晶のようにも見える。しかしながら、X線回折やRHEED法による解析を行うと単結晶の特性を示す。

【0055】この現象は、GaNやZnOでの成長において観察される。低温成長ZnOバッファ層を高温熱処理することにより、粒界等に起因する凹凸が固相成長の場合と同様に成長し、表面が平坦化するものと考えられる。平坦でないZnO表面上に単結晶ZnOを成長しようとしても、経験上、その結晶性は良くならない。

【0056】次いで平坦化した低温成長ZnOバッファ層上にZnOの単結晶(高温成長ZnO単結晶層)を成長する。

【0057】成長条件は、基板温度650℃、Zn(7N)のビーム量 $8.0 \times 10^{-3}$  Torrである。酸素の分圧として流量2.0 SCCMにおいて $8 \times 10^{-5}$  Torr、RFパワーは300Wである。

【0058】成長した高温成長ZnO単結晶層の厚さは1μmである。

【0059】尚、高温成長ZnO単結晶層の成長条件としては、600℃から800℃の間の温度で、2分間から60分間の成長を行うのが好ましい。

【0060】上記の条件で成長させた場合の高温成長ZnO単結晶層の結晶性評価を行った。

【0061】図5は、XRCによる測定結果である。

【0062】ピーク値は、 $17.35^\circ$ と図1の値とほとんど同じである。半値幅は、 $0.06^\circ$ ( $216 \text{ arc sec}$ )である。図8に示される従来の条件で成長した場合のZnOの半値幅( $0.5^\circ$ )と比較して、半値幅が約1/8に減少した。半値幅の大幅な低減は、低温成長ZnOバッファ層を設け、かつ、その表面の平坦化処理を行った後に、その上に高い成長温度で高温成長ZnO単結晶層を成長したことによる高温成長ZnO単結晶層の結晶性向上に起因するものと解される。

【0063】図6に、上記のZnO単結晶層のPLスペクトルを示す。

【0064】エネルギー3.359 eVに鋭いピークが観測された。低温成長ZnOバッファ層がない状態で成長したZnO単結晶の場合に(図9)観測された1.8 eVから2.7 eV付近にかけての非常にブロードなピークが観測されない。これは、ZnO層の禁制帯内に存在する深い準位からの発光が低減したことによるもの

と解される。ZnO結晶中の結晶欠陥が低減し、結晶性が大幅に向上したと考えられる。

【0065】ZnO結晶中に多くの結晶欠陥が導入されると、不純物を導入しない状態においても、強いn型の導電性を示す。上記の結晶成長法を用いて成長した高温成長ZnO単結晶層は、結晶欠陥も非常に少ない。従来の結晶成長方法によって成長したZnO単結晶では困難であったp型の導電性を示すZnOを実現することも可能となる。非発光センターを形成するような結晶欠陥が大幅に低減されるため、発光効率も非常に高くなったものと考えられる。

【0066】不純物としてNをドーピングしたZnOをp型半導体として用い、GaドーブのZnOをn型半導体として用いたp-n接合ダイオードを含むLED(Light Emitting Diode)を実現することが可能である。

【0067】図7に、NドーブのZnOをp型半導体として用い、GaドーブのZnOをn型半導体として用いたp-n接合ダイオードを含むLED(Light Emitting Diode)の断面構造を示す。

【0068】図7に示すLEDは、サファイア基板301と、その上に低温成長された厚さ100 nmのNドーブの低温成長ZnOバッファ層305と、その上に成長された厚さ1μmのn型(Gaドーブ： $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )高温成長ZnO単結晶層311と、その上に形成され厚さ100 nmのNドーブのp型の高温成長ZnO単結晶層315とを含む。

【0069】上記のn型ZnO層311は、第1電極321とコンタクトされている。

【0070】n型ZnO層を形成するためには、Gaの代わりにAlなどの他の3族元素をドーピングしても良い。

【0071】Nドーブのp型ZnO層315は島状に加工されている。島状に加工されたp型ZnO層315は、例えばSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>からなる絶縁膜318により被覆される。p型ZnO層315の上部表面には、例えば略円形の開口が絶縁膜318を貫通して形成される。

【0072】p型ZnO層315の上面周辺部上に、リング状の第2電極325が形成される。リング状の第2電極は、その下面の少なくとも一部がp型ZnO層315の上部表面の周辺部と接触する。リング状の第2電極235の径方向外方の部分は、絶縁膜318上に乗り上げた構造となっている。

【0073】上記の構造において、第1電極321に対し第2電極にプラスの電圧を印加すると、p-n接合に順方向電流が流れる。p型ZnO層315中に注入された少数キャリア(電子)とp型ZnO層315中の多数キャリア(正孔)とが発光性の再結合をする。電子と正孔との再結合の際に、ほぼ禁制帯のエネルギーギャップに等しいエネルギーを有する光が前記の開口から発す

る。すなわち、電気的エネルギーを光のエネルギーに変換する。

【0074】上記の動作により、LEDのリング状の第2電極235の開口から、例えば波長として約370nmの光が発する。

【0075】尚、本実施の形態においては、p型ZnO層とn型ZnO層とのp-n接合を利用した半導体素子の例としてLEDについて説明したが、p型ZnO層315とn型ZnO311とを組み合わせるレーザー素子を形成することも可能である。その他、p型ZnO層315と組み合わせて、FETやバイポーラトランジスタ等の電子デバイスや、他の光デバイス及びこれらを組み合わせた半導体装置を製造することも可能であることは言うまでもない。

【0076】尚、結晶性の良好なZnO単結晶を含むZnO系の3元系又は4元系の混晶により半導体結晶や半導体装置を作成することもできる。

【0077】以上、実施の形態に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。結晶成長の条件その他のプロセスパラメータも種々選択することができる。その他、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者には自明であろう。

【0078】

【発明の効果】サファイヤ基板上に結晶性が良好な単結晶ZnOを成長することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第一の実施の形態による結晶成長方法に用いるMBE装置の概略を示す断面図である。

【図2】 本発明の第一の実施の形態による結晶成長方法により成長したサファイヤ基板/低温成長ZnOバッファ層/高温成長ZnO単結晶層の積層構造を示す。

【図3】 本発明の第二の実施の形態による結晶成長方法により成長したZnOバッファ層の表面状態をAFM法により測定した結果を示す。(a)はZnリッチの条件で成長したものであり、(b)はOリッチの条件で成長したものである。

【図4】 成長温度650℃における高温成長ZnO単結晶層の成長速度とZnの分圧との関係を示す。

【図5】 本発明の第一の実施の形態による結晶成長方法により成長したサファイヤ基板/低温成長ZnOバッファ層/高温成長ZnO単結晶層の積層構造のうち、高温成長ZnO単結晶層のXRC法による測定結果であ

る。

【図6】 本発明の第一の実施の形態による結晶成長方法により成長したサファイヤ基板/低温成長ZnOバッファ層/高温成長ZnO単結晶層の積層構造のうち、ZnO単結晶層のPL測定法による測定結果である。

【図7】 本発明の第二の実施の形態による半導体発光装置(LED)の構造を示す概略的な断面図である。

【図8】 従来の成長方法により成長したサファイヤ基板/低温成長ZnOバッファ層/高温成長ZnO単結晶層の積層構造のうち、ZnO単結晶層のXRC法による測定結果である。

【図9】 従来の成長方法により成長したサファイヤ基板/低温成長ZnOバッファ層/高温成長ZnO単結晶層の積層構造のうち、高温成長ZnO単結晶層のPL測定法による測定結果である。

【符号の説明】

A RS-MBE装置

C 制御装置

P 真空ポンプ

S 基板

1 チャンバ

3 基板ホルダー

3a ヒータ

5 熱電対

7 マニピュレータ

11 Zn用ポート

15 Zn原料

17 クヌーセンセル

21 Oラジカルポート

31 Nラジカルポート

100 ZnO基板

101 ZnOバッファ層(低温成長ZnOバッファ層)

105 ZnO単結晶層(高温成長ZnO単結晶層)

301 サファイヤ基板

305 ZnO層バッファ層(低温成長ZnOバッファ層)

311 n型ZnO層(高温成長ZnO単結晶層)

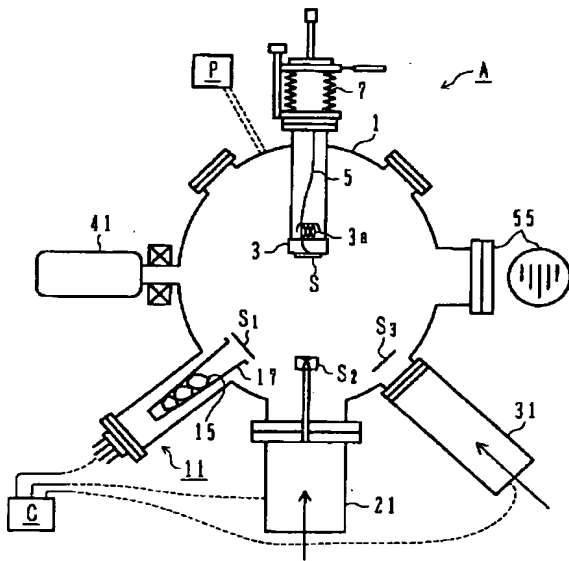
315 p型ZnO層(高温成長ZnO単結晶層)

318 絶縁膜

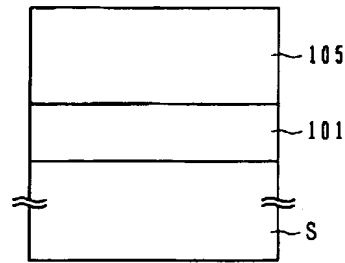
321 第1電極

325 第2電極

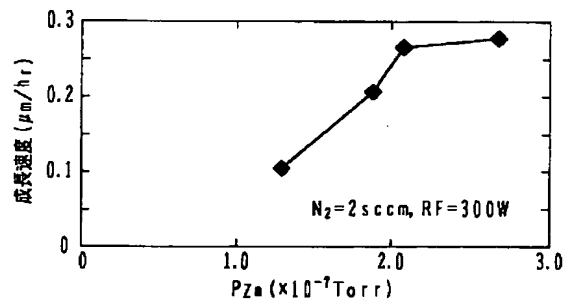
【図 1】



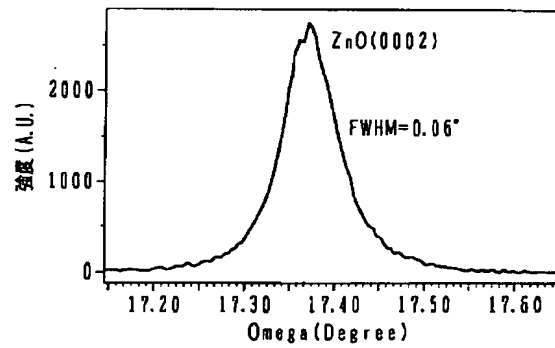
【図2】



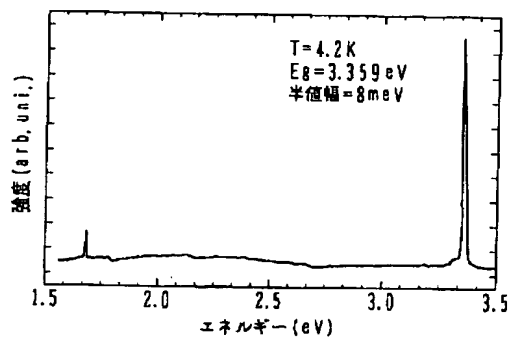
【図4】



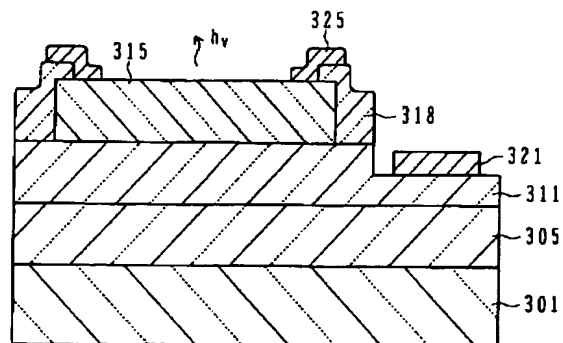
【図5】



【図6】



【図 7】

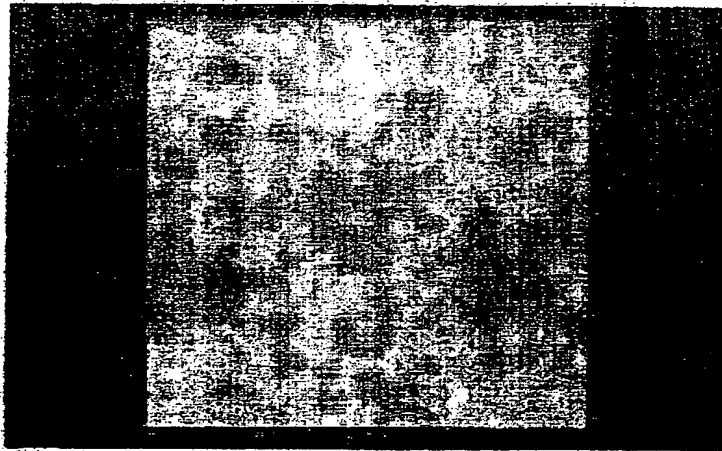




【図3】

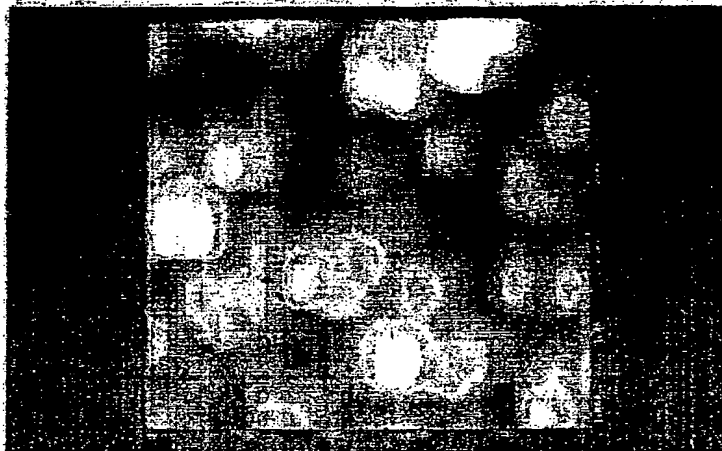
(a)

Znリッチ表面

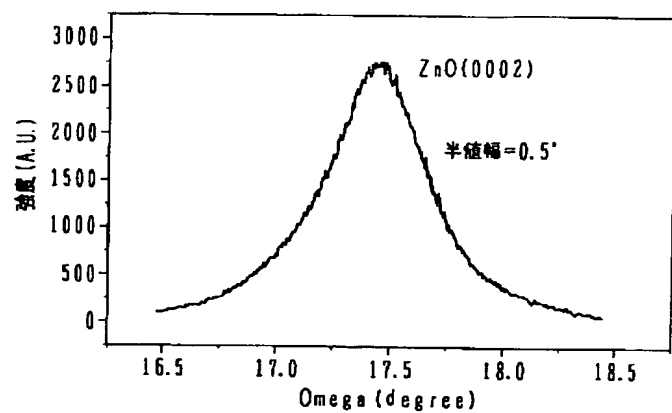


(b)

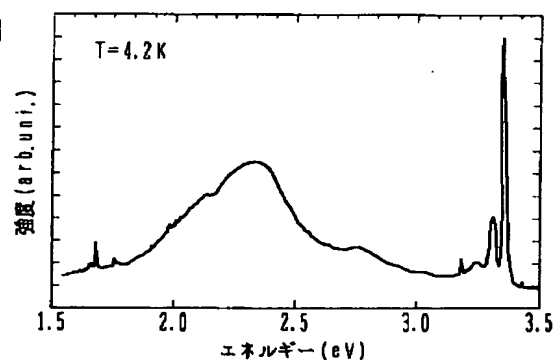
酸素リッチ表面



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 八百 隆文  
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号  
東北大学 金属材料研究所内

Fターム(参考) 5F041 AA40 CA02 CA41 CA46 CA49  
CA55 CA57 CA66 CA73 CA74  
CA77  
5F103 AA04 BB02 DD30 GG01 GG03  
HH04 JJ01 JJ03 NN01 PP03  
RR06